




## **MIKROPLASTIK W GLEBIE JAKO NOWY RODZAJ ZANIECZYSZCZENIA – ŹRÓDŁA, ZAGROŻENIE, IDENTYFIKACJA**

**Prezentuje:** mgr Radosław Stec  
Instytut Ekologii Terenów  
Uprzemysłowionych

**Miejsce i data:** Katowice 14.12.2023



**Plastik – sztuczne tworzywo polimerowe  
uzyskiwane z rafinacji ropy naftowej i/lub gazu  
ziemnego  
(Thompson i in. 2009, Cole i in. 2011).**

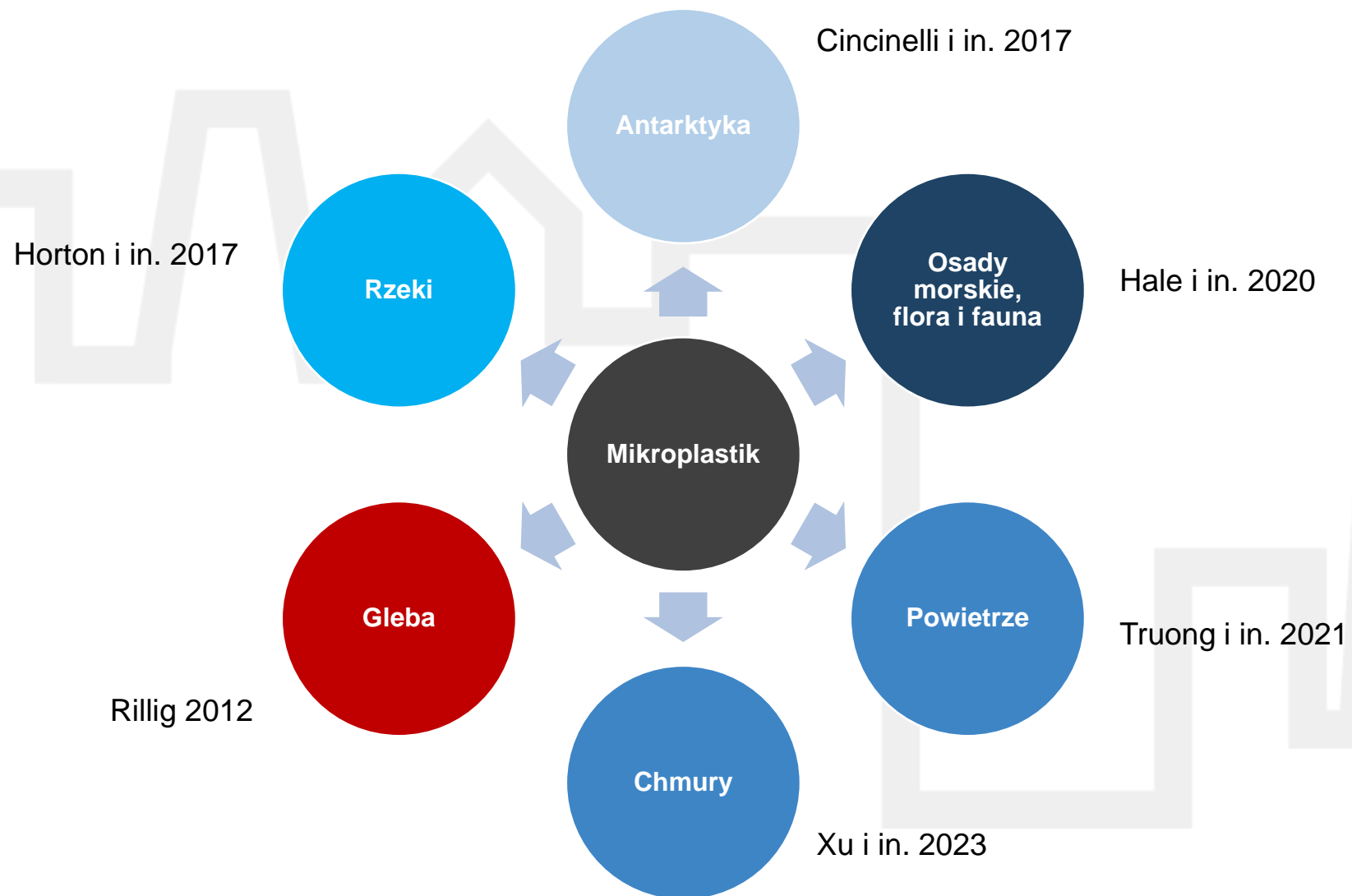
- 1907 r. – Opracowanie metody produkcji Bakelitu, pierwszego plastiku produkowanego na światową skalę (Nuelle i in. 2014).
- 1980 r. – Zauważono zwiększanie się odpadów plastikowych na plażach w Alasce (Merrell 1980).
- 2004 r. – Profesor Thompson przedstawił małe drobiny plastikowe w wodzie, nadając im nazwę „mikroplastik”.
- 2012 r. – Pierwsza publikacja naukowa skupiająca się na zanieczyszczeniu gleby mikroplastikiem (Rillig 2012).
- 2019 r. – 350 mln ton plastiku zostało wyprodukowane na świecie, tylko 9% poddane recyklingowi, 22 mln ton plastiku przedostało się do środowiska (OECD 2022).

## MIKROPLASTIK – ŹRÓDŁA POCHODZENIA

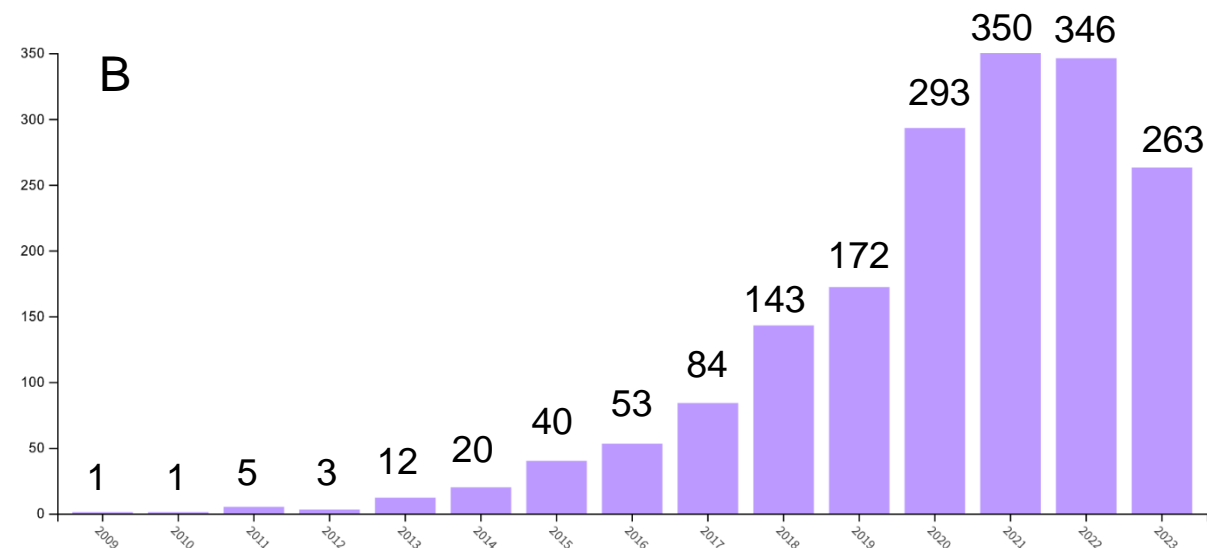
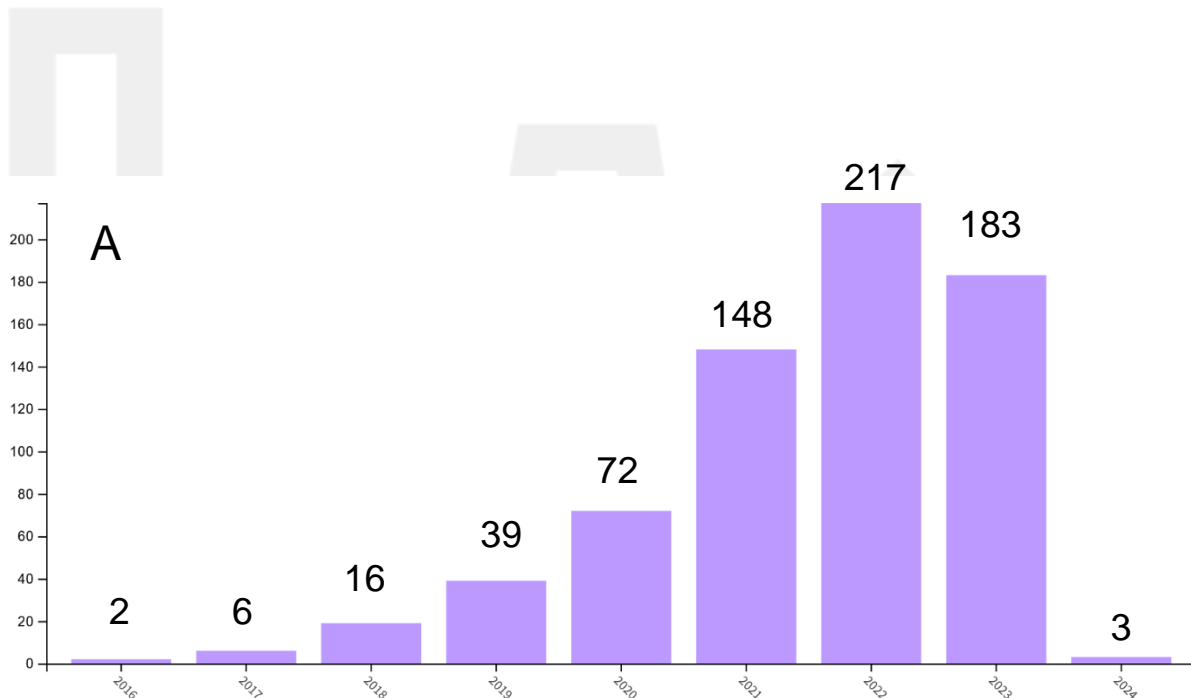


Źródło: Rocha-Santos i Duarte 2015, Bläsing i Amelung 2018, Hartmann i in. 2019, Chia i in. 2021, Österlund i in. 2023

## GDZIE ZNAJDZIEMY MIKROPLASTIK W ŚRODOWISKU?



## RÓŻNICE W LICZBIE PUBLIKACJI ZE WZGLĘDU NA KOMPONENT ŚRODOWISKA



Wykresy przedstawiają liczbę publikacji w danych latach (przygotowane za pomocą bazy Web of Science stan na 27.11.2023):

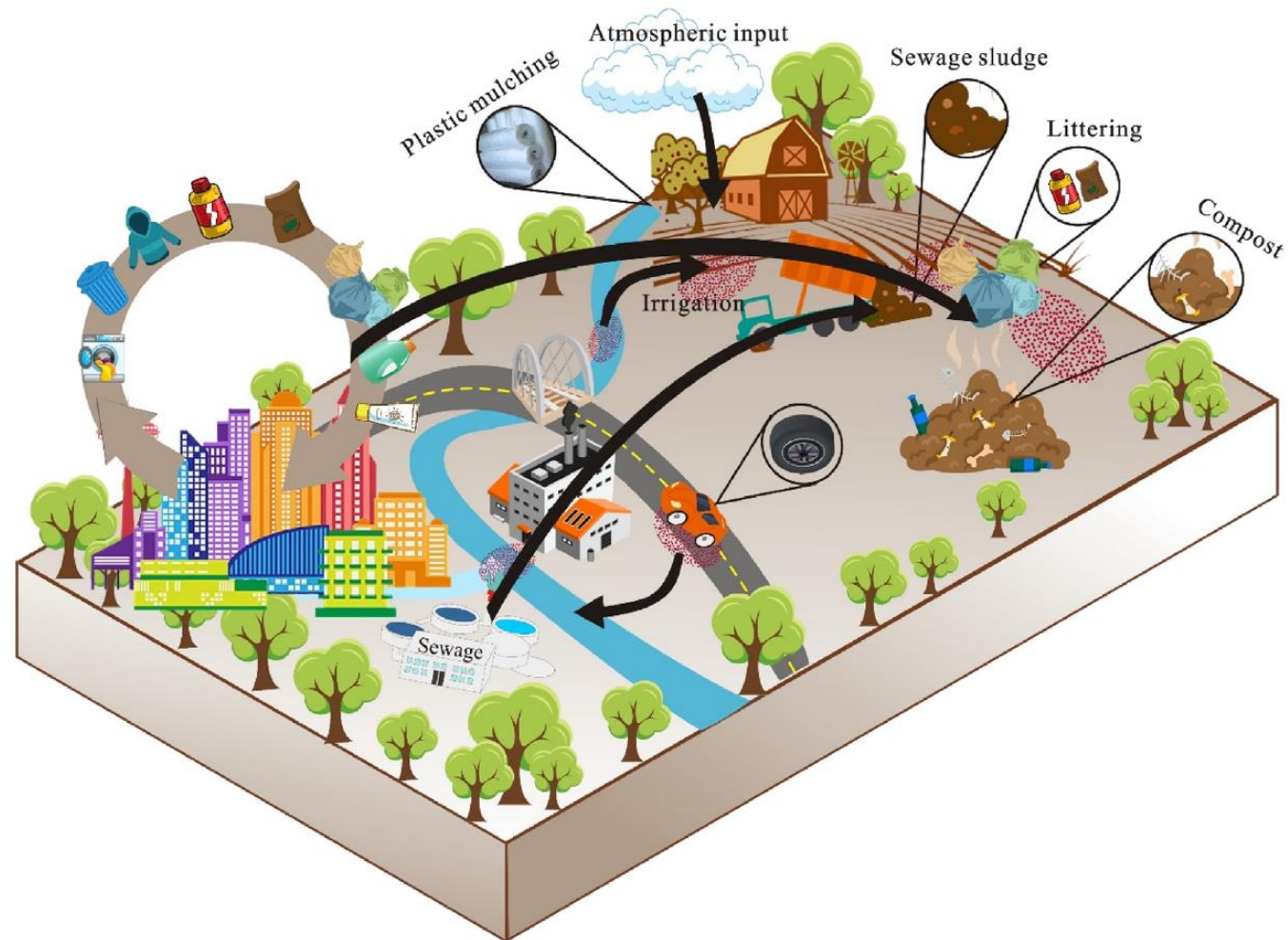
A – publikacje mające słowa „microplastic” i „soil” w abstrakcie, całkowita liczba - 689,

B – publikacje mające słowa „microplastic” i „marine” w abstrakcie, całkowita liczba - 1786



## ŹRÓDŁA MIKROPLASTIKU W GLEBIE

- ❖ Kompost
- ❖ Atmosfera
- ❖ Nawadnianie i spływ wód opadowych
- ❖ Ściółkowanie plastikiem (ang.: Plastic mulching)
- ❖ Zaśmiecanie
- ❖ Transport kołowy
- ❖ Osad ściekowy



Grafika: Yang i in. 2021

## WPŁYW MIKROPLASTIKU NA JAKOŚĆ GLEB



Zwiększone pH – związane wypłukiwanie związków z drobin plastikowych oraz obecnością metali ciężkich (de Souza Machado i in. 2019, Wang i in. 2020, Lozano i in. 2021a, Zhao i in. 2021)

Folie PE mogą zmniejszać różnorodność bakterii odpowiedzialnych za wiązanie azotu (Fei i in. 2020, Zhao i in. 2021)


Zmniejszona liczba dżdżownic (Kwak and An 2021, Lee i in. 2023)

## WPŁYW MIKROPLASTIKU NA ROŚLINY




- Opóźnianie kiełkowania nasion gatunków takich jak: *Lemna minor* i *Lepidium sativum* (Kalcíková i in. 2017, Bosker i in. 2018).
- W zależności od rodzaju i dawki mikroplastik może wpływać negatywnie na biomasę roślin (de Souza Machado i in. 2019, Wang i in. 2020)
- Metale ciężkie mogą powodować większe pobieranie mikroplastiku przez rośliny poprzez deformacje ścian komórkowych (Dong i in. 2021, Campanale i in. 2022)





W 2022 roku wykryto i oznaczono mikroplastik znajdujący się w krwi ludzkiej (Leslie i in. 2022).

Źródło: <https://www.mp.pl/pacjent/hematologia/c-horoby/322586,krew-ile-krwi-ma-czlowiek-funkcje-i-sklad-krwi>



Tego samego roku wykazano że mikroplastik znajdujący się w powietrzu może przenikać do tkanek płuc u ludzi (Jenner i in. 2022).

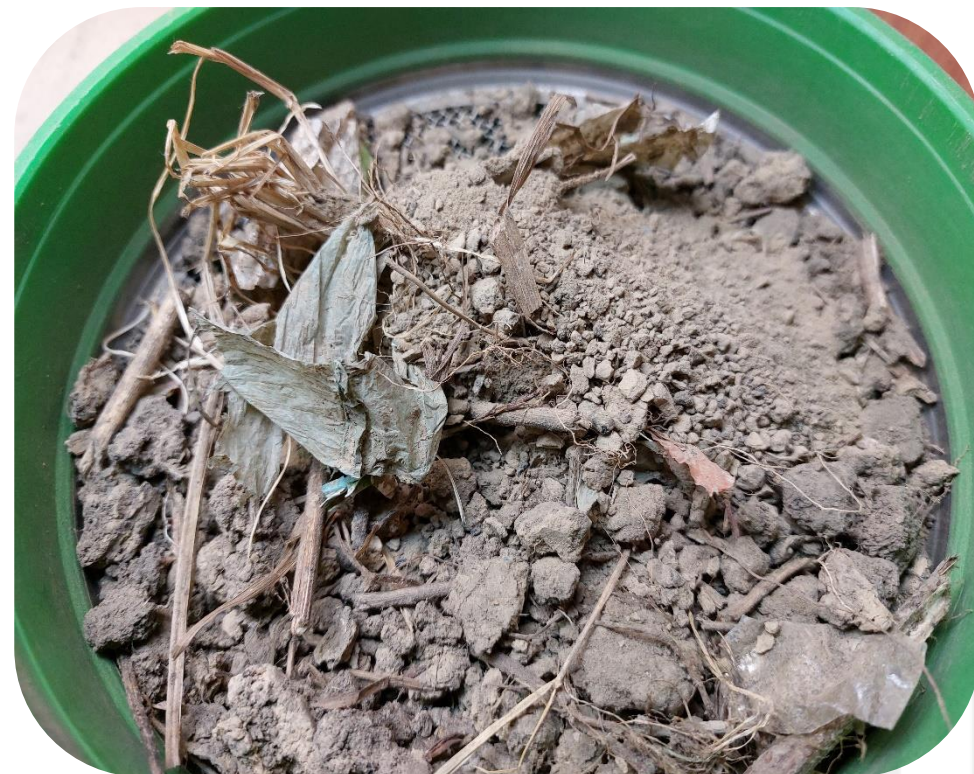
Źródło: <https://zdrowietvn.pl/a/budowa-pluc-czlowieka-anatomia-segmenty-dzialanie>

Przygotowanie próbek do analiz:

- Frakcjonowanie gęstościowe (density fractionation/separation)

Techniki identyfikacji mikroplastiku:

- Mikroskop (optyczna identyfikacja)
- Mikroskopia w podczerwieni z transformacją Fouriera (Fourier-transform infrared spectroscopy FT-IR)
- Mikroskopia Ramana
- Pirolityczna chromatografia gazowa z spektrometrem mas



Źródło własne

Przygotowanie  
i suszenie  
próbek

- Suszenie w maks. 50 stopniach C
- Dobranie odpowiedniego sita

Oczyszczanie  
z materii  
organicznej

- Duże możliwości jeśli chodzi o dostępne środki

Ekstrakcja  
mikroplastiku

- Możliwość użycia różnych roztworów

Identyfikacja

- **Głębokość próbkowania:**
  - Wiele prac skupia się tylko na powierzchniowym poborze do 5 cm (Phiel i in. 2018, Liu i in. 2018)
  - Dla gleb rolniczych zalecane jest 30 cm głębokości (Thomas i in. 2020)
- **Suszenie próbek:**
  - Suszenie w temperaturze pokojowej (Yang i in. 2021)
  - Suszenie w piecach, zalecana max 50°C, przy 60-70°C istnieje ryzyko częściowej degradacji mikroplastiku (Hurley i in. 2018, Yang i in. 2021)
- **Wielkość frakcji:**
  - Przesiewanie przez 5 mm zgodnie z definicją (Liu i in. 2018, Huang i in. 2020, Zhou i in. 2020)
  - Przesiewanie przez 5,1 mm aby mieć rozpoznanie na różne wielkości (Braun i in. 2018, Hartmann i in. 2019)
  - Przesiewanie przez 2 mm (Zhang i in. 2018)



## USUWANIE MATERII ORGANICZNEJ

Metoda	Substancje	Czas trwania	Dodatkowe warunki	Możliwe skutki uboczne	Literatura
Obróbka alkaiczna	KOH 10%/ NaCl	2 – 3 tygodnie	Temperatura pokojowa	Brak	Duflos i Paul-Pont 2016, Mintenig i in. 2017
Utlenianie	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 30%	Od 1 dnia do tygodnia	Temperatura pokojowa, lub zazwyczaj 60-70°C	Degradacja niektórych typów polimerów jak polipropylen, polietylen.	Tagg i in. 2015, Sujathan i in. 2017
Obróbka kwasowa	Mocne kwasy: HNO <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ,	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1-7 dni HNO <sub>3</sub> 2 dni	Temperatura 90°C	Degradacja politereftalanu etylenu (PET) poliamidu,	Scheurer i Bigalke 2018,
Obróbka enzymatyczna	Celulazy, Chitynazy	4 dni dla celulazy	Celulaza – pH 5,0; 50°C Chitynaza – pH 5,6; 37°C	Brak	Löder i in. 2017

## ROZTWORY DO EKSTRAKЦИИ MIKROPLASTIKU

Woda destylowana  
1,0 g/cm<sup>3</sup>

- Najniższa różnica gęstości, pozwala na odzyskanie niektórych plastików

NaCl 1,2 g/cm<sup>3</sup>

- Tani, bezpieczny, brak odzysku cięższych cząstek mikroplastiku

ZnCl<sub>2</sub> 1,6 g/cm<sup>3</sup>

- Szeroko używany, toksyczny i korozyjny

NaI 1,8 g/cm<sup>3</sup>

- Największa różnica w gęstości, drogi odczynnik

Gęstości wybranych

polimerów:

PP: 0,85 – 0,95 g/cm<sup>3</sup>

PE: 0,88 – 0,96 g/cm<sup>3</sup>

PVC: 1,1 – 1,45 g/cm<sup>3</sup>

PET: 1,37 – 1,46 g/cm<sup>3</sup>

Metoda identyfikacji oparta na wizualnej analizie.

Pozwala ocenić kształt, kolor, rozmiar cząsteczek.

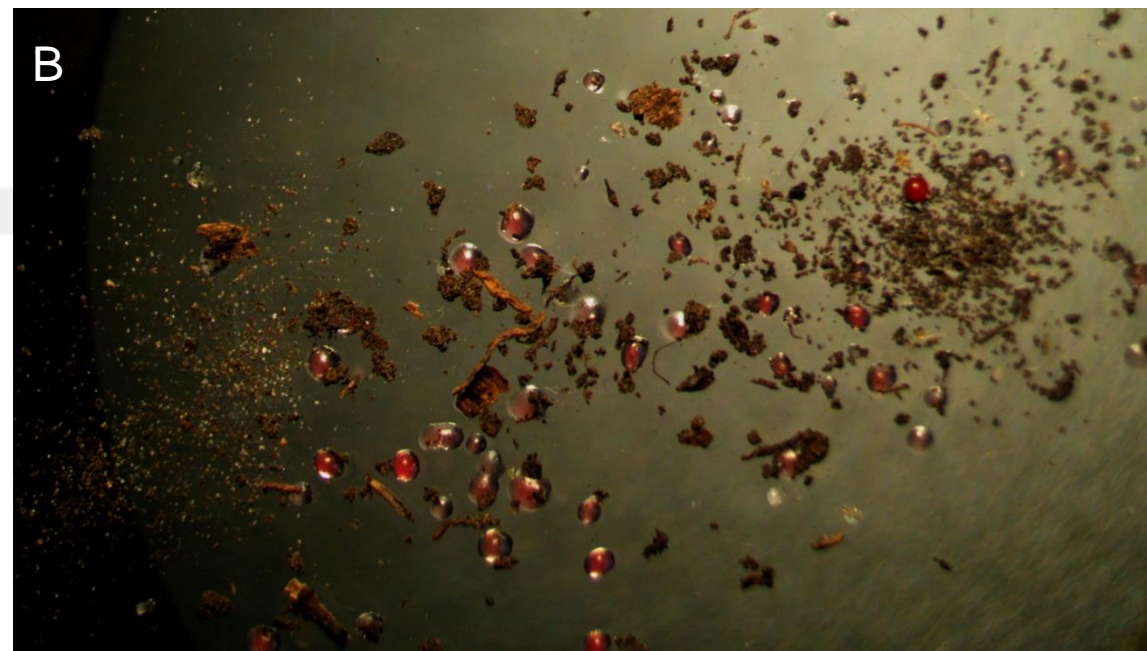
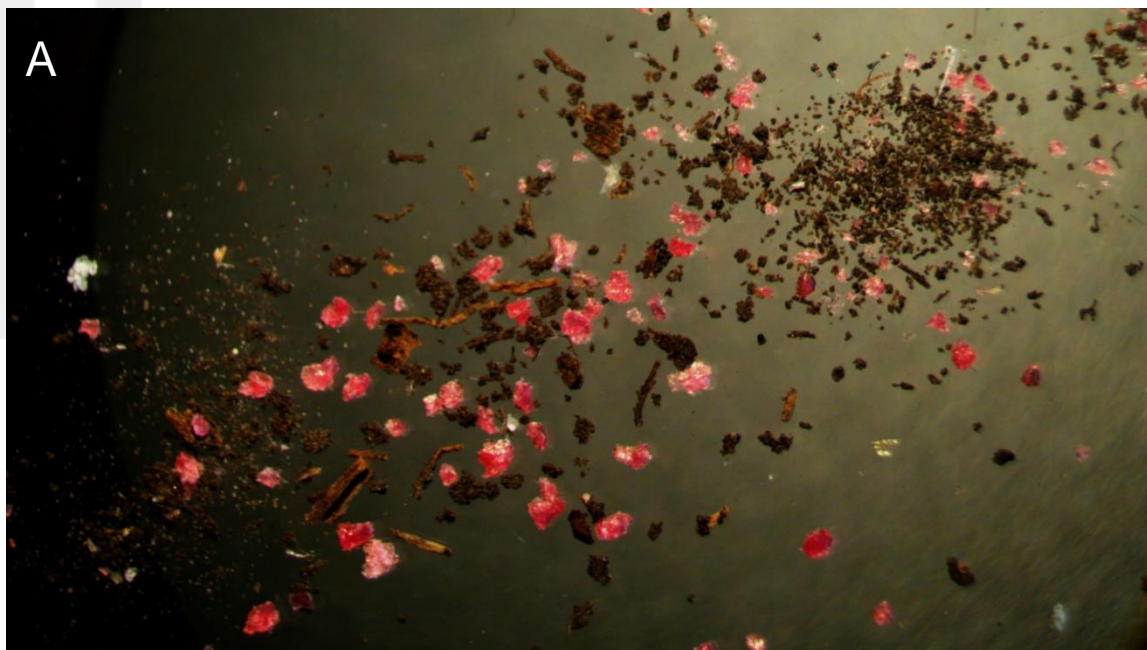
Fotografowanie próbki przed i po podgrzaniu pozwala na identyfikację cząstek plastiku.

Metoda ilościowa – wynikiem może być:

- ❖ ilość cząsteczek na masę gleby,
- ❖ masa mikroplastiku na masę gleby,
- ❖ objętość mikroplastiku na masę gleby,



Mikroskop stereoskopowy  
Źródło własne



Zdjęcia próbek wykonane pod mikroskopem o powiększeniu  $\times 0,63$ . Następujące oznaczenia to:

A – próbka przed wykonaniem próby temperaturowej

B – próbka po wykonaniu próby temperaturowej ( $120^{\circ}\text{C}$  przez 5 s)

Źródło własne

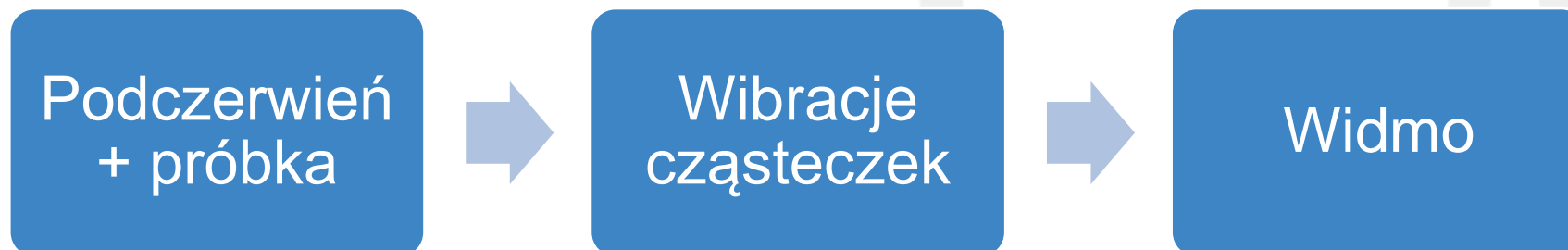


Zasady działania techniki:

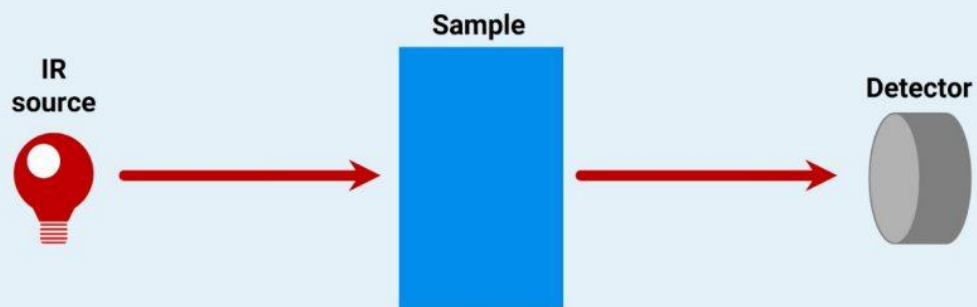
Próbka jest naświetlana światłem podczerwonym, którego część jest pochłonięta.

Światło nie jest monochromatyczne, do badań używane jest dane spektrum.

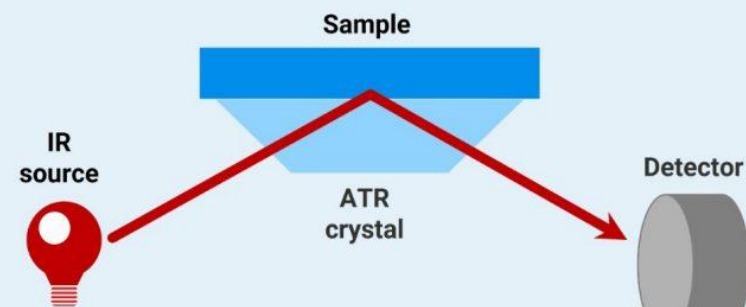
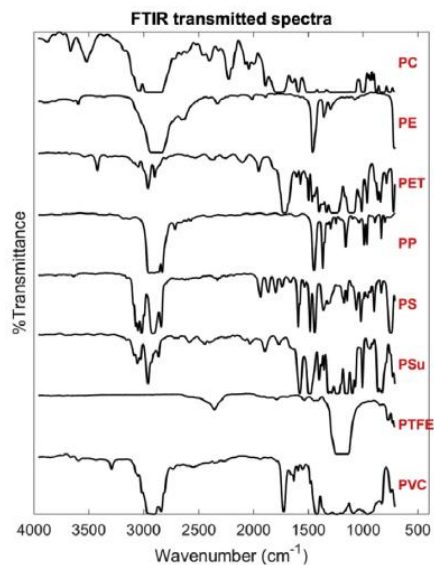
Używając transformaty fouriera oraz danych z interferometru tworzy się widmo absorpcji.



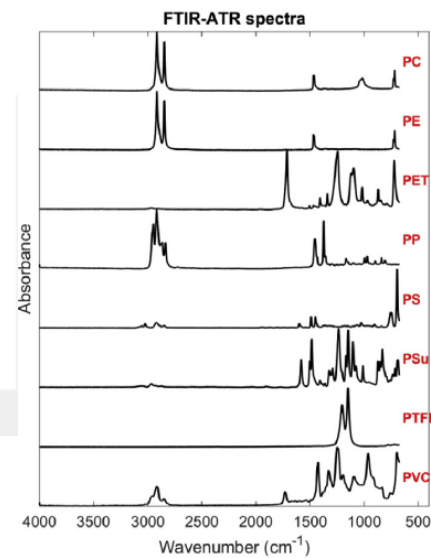
## DWA TYPY FT-IR



### Transmisja

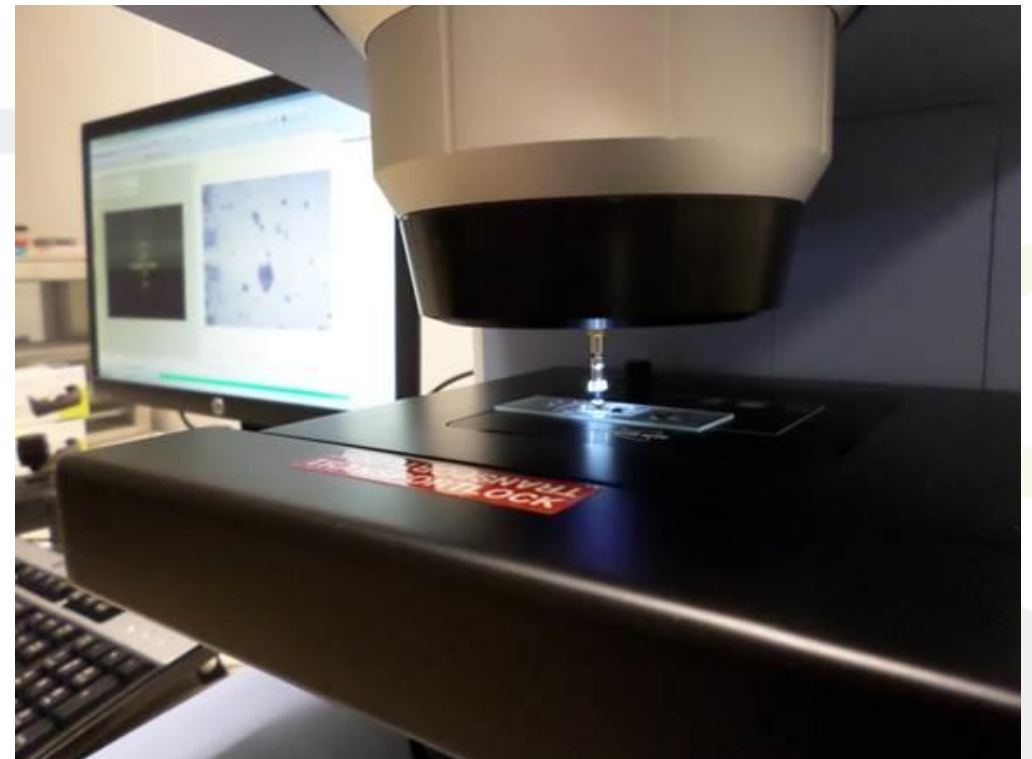


### Absorbcja



Grafika: Bruker.com  
Widma: Xu i in. 2019

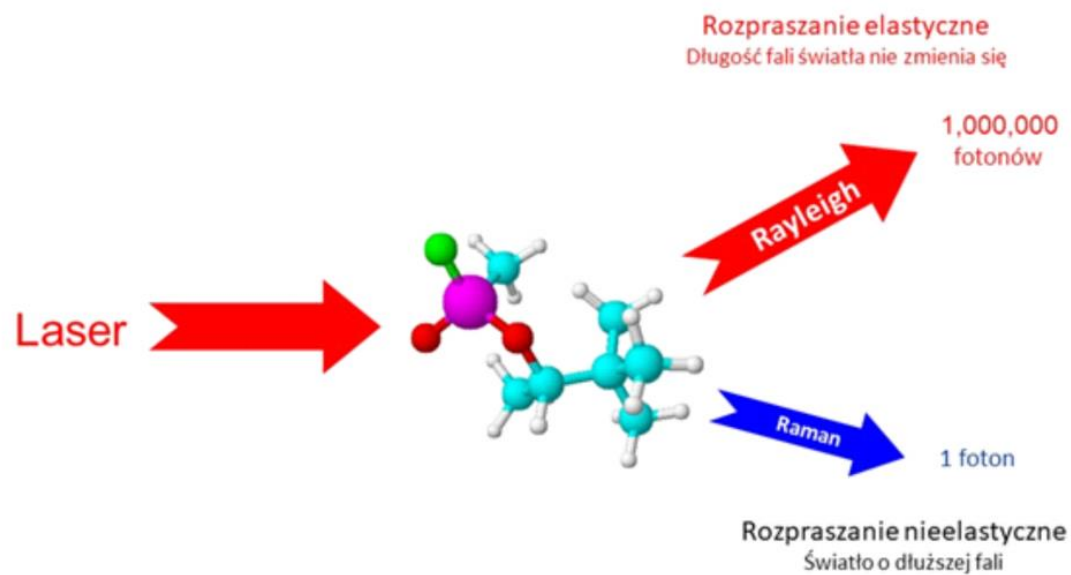
- ❖ Połączenie mikroskopu optycznego z spektroskopem FTIR.
- ❖ Obszar pomiaru wynosi  $4 \text{ mm}^2$
- ❖ Wykrywalność na poziomie do  $20 \mu\text{m}$ .
- ❖ Możliwość użycia transmisji lub absorbcji.



Mikro FT-IT z przystawką ATR  
źródło: [advancedmicroanalytical.com](http://advancedmicroanalytical.com)

- ❖ Jest to technika opierająca się na promieniowaniu Ramana.
- ❖ Jest ono charakterystyczne dla grup funkcyjnych zawartych w cząsteczkach.
- ❖ Wymaga monochromatycznego światła lasera.
- ❖ Wrażliwa na zjawisko fluorescencji.

## Spektroskopia Ramana



Źródło grafiki: Raytech.pl

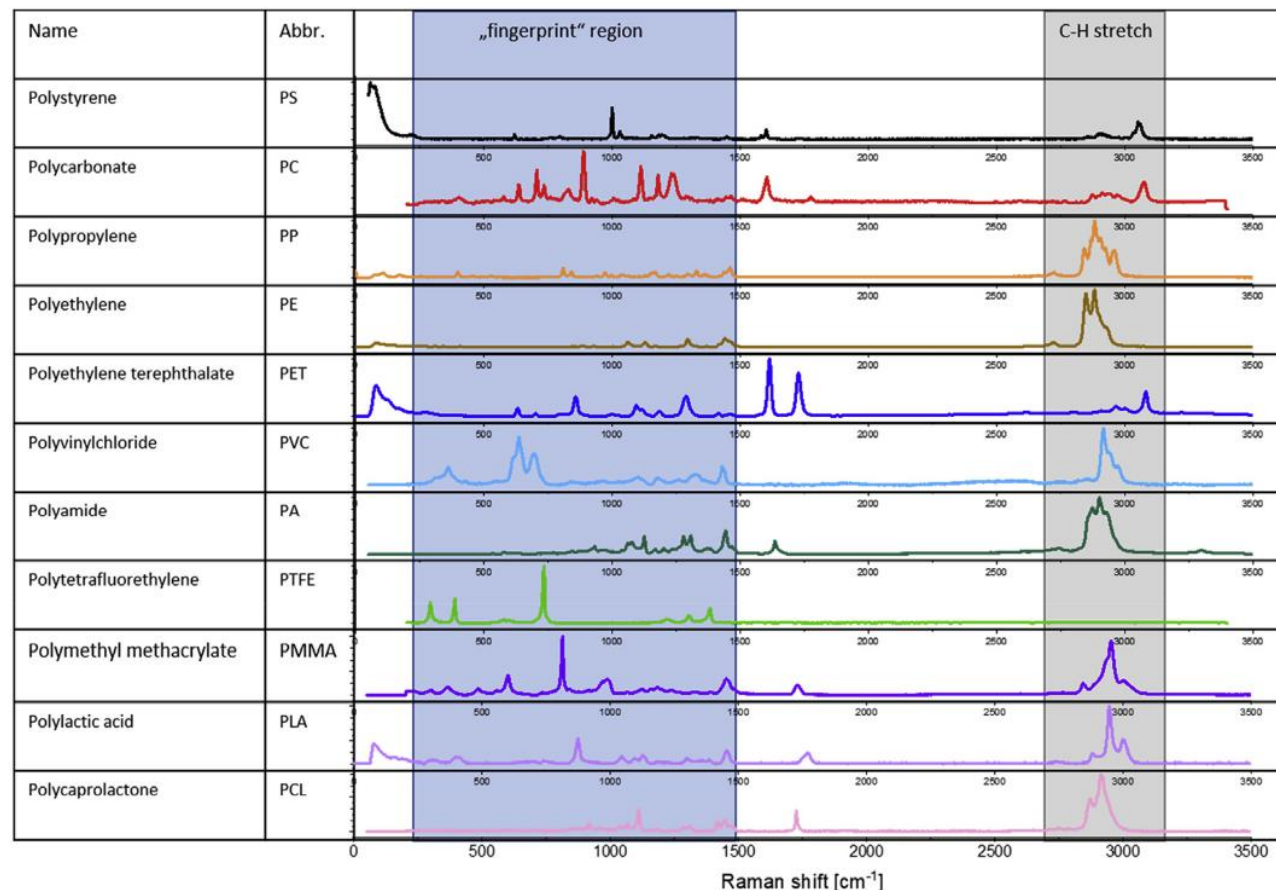


Zalety mikroskopu oraz spektroskopii Ramana.

Brak konieczności przygotowywania próbek – teoretycznie.

Duża rozdzielczość umożliwia badanie cząstek mikroplastiku do wielkości 1  $\mu\text{m}$ .

Mniejsze cząsteczki wymagają dłuższego czasu pomiarowego.



Widma Ramana dla poszczególnych polimerów z wyszczególnionymi rejonami charakterystycznymi.  
 Źródło: Anger i in. 2018

## μ-spektroskopia Ramana

Większy wskaźnik identyfikacji (ok. 25%)

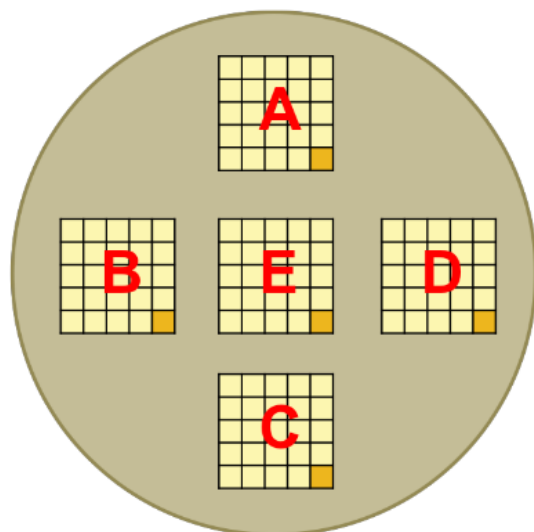
Dłuższy czas analizy, w zależności od protokołów może być czterokrotnie dłuższy

## μ ATR - FTIR

Detekcja plastików o różnych barwach np.: zielonych, brązowych

Zdecydowanie krótszy czas analiz

Araujo i in. 2018,  
Cabernard i in.  
2018, Song i in.  
2021



Filtered area:  $(5 \text{ mm})^2 \times \pi$



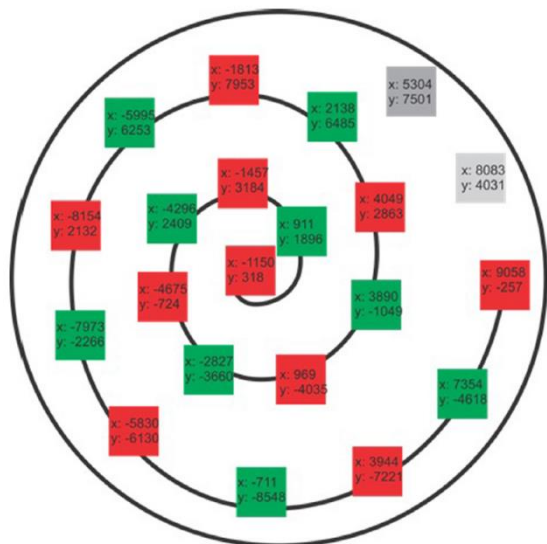
1 sector (25 visual fields): 2.18 mm x 2.18 mm  
 → 6% of filtered area



1 visual field: 0.44 mm x 0.44 mm  
 → 0.25% of filtered area

Sector A – D: border

Sector E: center



Schemat badania osadu na sączku .

Całkowita powierzchnia pomiaru to 24%.

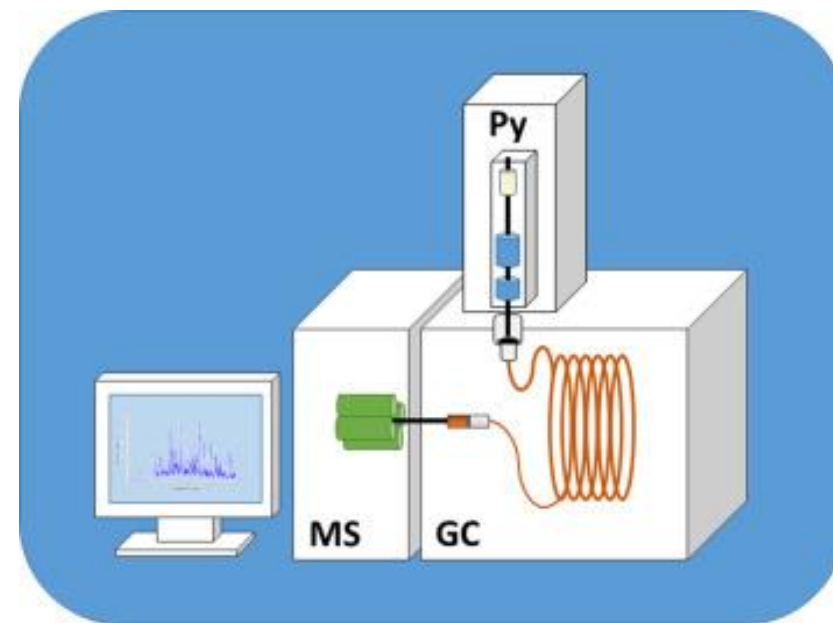
Źródło: Cabernard i in. 2018

Przykład schematu pomiaru drobin na filtrze o średnicy 25 mm. Każdy kwadrat to obszar 4 mm<sup>2</sup>. Zbadane zostało 15,5% obszaru sączka.

Źródło: Huppertsberg i Knepper 2020

Technika ta bazuje na trzech poszczególnych częściach:

- ❖ Pirolizer (Py) - którego zadaniem jest rozkład substancji badanej na związki prostsze pod wpływem temperatury.
- ❖ Chromatograf gazowej (GC) – rozdziela mieszaniny gazowe na poszczególne związki, eluentem jest zazwyczaj hel.
- ❖ Spektrometr mas (MS) – detektor, używany ze względu na dużą czułość i bogatą bibliotekę spektrometryczną.



Źródło: Picó i Barceló 2020



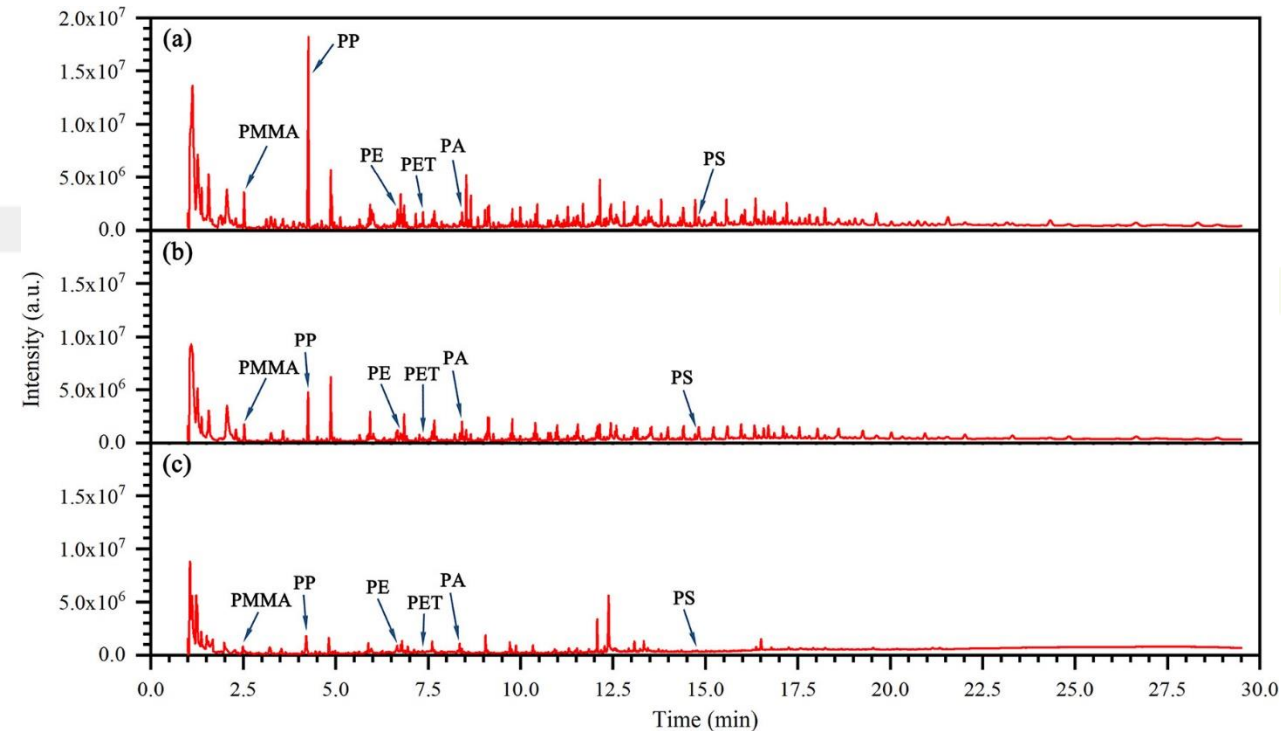
Umożliwia wykrywanie cząstek nanoplastiku.

Wrażliwa na materię organiczną, dlatego wymaga przygotowania próbek.

Preferowana konfiguracja metody to:

- Pirolizer piecowy
- Dwu punktowa chromatografia gazowa (Double-shot analysis)
- Możliwa jest derywatywacja przy pomocy TMAH
  - Reaguje z PET, PMMA, PC, i poliamidami.

Źródło: Picó i Barceló 2020



Widmo dla przedstawionych próbek plastiku różniących się wielkościami:

A – 50 – 1000  $\mu\text{m}$ , B – 1 – 50  $\mu\text{m}$ , C – 0,01 – 1  $\mu\text{m}$

Widmo: Xu i in. 2023

- ❖ Przygotowanie jednolitego protokołu dla próbek glebowych.
- ❖ Opracowanie uniwersalnego frakcjonowania gęstościowego.
- ❖ Systematyzacja monitoringu.
- ❖ Zwiększenie recyklingu oraz ulepszenie gospodarki odpadami ze szczególnym uwzględnieniem plastiku.



Źródło: <https://futuristspeaker.com/global-trends/15-global-challenges-changing-times-changing-priorities/>

- ❖ Zanieczyszczenie gleb mikroplastikiem to poważny i niedoceniany problemem.
- ❖ Wpływ mikroplastiku na organizmy żywe wciąż jest niejasny i wymaga dalszych badań.
- ❖ Brak jednolitych metod badawczych i protokołów poboru próbek.



Źródło: <https://sls-uk.org/not-so-fantastic-plastic/>

- Anger P.M., von der Esch E., Baumann T., Elsner M., Niessner R., Ivleva N.P. 2018. Raman microspectroscopy as a tool for microplastic particle analysis. *TrAC Trends Anal. Chem.* 109, 214–226 <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.10.010>
- Araujo C. F., Nolasco M. M., Ribeiro A. M., & Ribeiro-Claro, P. J. 2018. Identification of microplastics using Raman spectroscopy: Latest developments and future prospects. *Water Res.* 142, 426-440. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.05.060>
- Bläsing M. i Amelung W. 2018. Plastics in soil: Analytical methods and possible sources. *Sci. Total Environ.* 612, 422-435. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.086>
- Bosker T., Bouwman L.J., Brun N.R., Behrens P., Vijver M.G. 2019. Microplastics accumulate on pores in seed capsule and delay germination and root growth of the terrestrial vascular plant *Lepidium sativum*. *Chemosphere*, 226, 774-781. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.03.163>
- Braun U., Jekel M., Gerdts G., Ivleva N.P., Reiber J. 2018. Microplastics Analytics—Sampling, Preparation and Detection Methods. Discussion Paper within the scope of the research focus "Plastics in the Environment: Sources, Sinks, Solutions".
- Cabernard L., Roscher L., Lorenz C., Gerdts G., Primpke S. 2018. Comparison of Raman and Fourier Transform Infrared Spectroscopy for the Quantification of Microplastics in the Aquatic Environment. *Environ. Sci. Technol.* <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b03438>
- Campanale C., Galafassi S., Savino I., Massarelli C., Ancona V., Volta P., Uricchio, V.F. 2022. Microplastics pollution in the terrestrial environments: Poorly known diffuse sources and implications for plants. *Sci. Total Environ.* 805, 150431. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150431>
- Chia R.W., Lee J.Y., Kim H., Jang J. 2021. Microplastic pollution in soil and groundwater: a review. *Environ. Chem. Lett.*, 19(6), 4211-4224. <https://doi.org/10.1007/s10311-021-01297-6>
- Cincinelli A., Scopetani C., Chelazzi D., Lombardini E., Martellini T., Katsoyiannis A., Fossi M.C., Corsolini S. 2017. Microplastic in the surface waters of the Ross Sea (Antarctica): occurrence, distribution and characterization by FTIR. *Chemosphere*, 175, 391-400. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.02.024>
- Cole M., Lindeque P., Halsband C., Galloway T. S. 2011. Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Mar. Pollut. Bull.*, 62(12), 2588–2597. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025>
- de Souza Machado A.A., Lau C.W., Kloas W., Bergmann J., Bachelier J.B., Faltin E., Becker R., Görlich A.S., Rillig M.C. 2019. Microplastics Can Change Soil Properties and Affect Plant Performance. *Environ. Sci. Technol.* 53 (10), 6044–6052. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b01339>
- Dong Y., Gao M., Qiu W., Song Z. 2021. Uptake of microplastics by carrots in presence of As (III): Combined toxic effects. *J. Hazard. Mater.* 411, 125055. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125055>
- Dehaut A., Cassone A-L., Frère L., Hermabessiere L., Himber C., Rinnert E., Rivière G., Lambert C., Soudant P., Huvet A., Duflos G., Paul-Pont I. 2016 Microplastics in seafood: Benchmark protocol for their extraction and characterization. *Environ. Pollut.* 215, 223–233 <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.05.018>
- Fei Y., Huang S., Zhang H., Tong Y., Wen D., Xia X., Wang H., Luo Y., Barceló D. 2020. Response of Soil Enzyme Activities and Bacterial Communities to the Accumulation of Microplastics in an Acid Cropped Soil. *Sci. Total Environ.* 707, 135634. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135634>
- Hale R.C., Seeley M.E., La Guardia M.J., Mai L., Zeng E.Y. 2020. A global perspective on microplastics. *J. Geophys. Res. Oceans*, 125(1), e2018JC014719. <https://doi.org/10.1029/2018JC014719>
- Hartmann N., Hüffer T., Thompson R., Hasselöv M., Verschoor A., Daugaard A., Rist S., Karlsson T., Brennholt N., Cole M., Herrling M.P., Hess M.C., Ivleva N.P., Lusher A.L., Wagner M. 2019. Are We Speaking the Same Language? Recommendations for a Definition and Categorization Framework for Plastic Debris. *Environ. Sci. Technol.* 53, 1039–1047. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b05297>
- He D., Luo Y., Lu S., Liu M., Song Y., Lei L. 2018. Microplastics in soils: Analytical methods, pollution characteristics and ecological risks. *TrAC, Trends Anal. Chem.* 109, 163-172. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.10.006>
- Horton A.A., Svendsen C., Williams R.J., Spurgeon D.J., Lahive E. 2017 Large microplastic particles in sediments of tributaries of the River Thames UK—Abundance, sources and methods for effective quantification. *Mar. Pollut. Bull.* 114, 218–226. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.09.004>
- Huang Y., Liu Q., Jia W., Yan C., Wang J. 2020. Agricultural plastic mulching as a source of microplastics in the terrestrial environment. *Environ. Pollut.* 260, 114096. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114096>
- Huppertsberg S., Knepper T.P. 2020. Validation of an FT-IR microscopy method for the determination of microplastic particles in surface waters. *MethodsX*, 7, 100874. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2020.100874>
- Hurley R.R., Lusher A.L., Olsen M., Nizzetto L., 2018. Validation of a method for extracting microplastics from complex, organic-rich, environmental matrices. *Environ. Sci. Technol.* 52, 7409–7417. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b01517>.
- Jacques O. i Prosser R.S. 2021. A probabilistic risk assessment of microplastics in soil ecosystems. *Sci. Total Environ.*, 757, 143987. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143987>
- Jenner L.C., Rotchell J.M., Bennett R.T., Cowen M., Tentzeris V., Sadofsky L.R. 2022. Detection of microplastics in human lung tissue using  $\mu$ FTIR spectroscopy. *Sci. Total. Environ.* 831, 154907. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154907>
- Kalčíková G., Gotvajn A.Ž., Kladník A., Jemec A. 2017. Impact of polyethylene microbeads on the floating freshwater plant duckweed *Lemna minor*. *Environ. Pollut.* 230, 1108e1115. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.07.050>
- Kwak J.I. i An Y.J. 2021. Microplastic digestion generates fragmented nanoplastics in soils and damages earthworm spermatogenesis and coelomocyte viability. *J. Hazard. Mater.* 402, 124034. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124034>

- Lee J.-Y., Cha J., Jeong E., Chia R.W. 2023. Microplastics in soil and groundwater of Korea: Occurrence, characteristics and risk assessment. *Episodes J. Int. Geosci.* <https://doi.org/10.18814/epiugs/2023/02403s01>
- Leslie H.A., Van Velzen M.J., Brandsma S.H., Vethaak A.D., Garcia-Vallejo J.J., Lamoree M.H. 2022. Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. *Environ. Int.* 163, 107199. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107199>
- Liu M., Lu S., Song Y., Lei L., Hu J., Lv W., Zhou W., Cao C., Shi H., Yang X., He D. 2018. Microplastic and mesoplastic pollution in farmland soils in suburbs of Shanghai, China. *Environ. Pollut.* 242, 855–862. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.07.051>
- Löder M.G., Imhof H.K., Ladehoff M., Löschel L.A., Lorenz C., Mintenig S., Piehl S., Primpke S., Schrank I., Laforsch C., Gerdtz G. 2017. Enzymatic purification of microplastics in environmental samples. *Environ. Sci. Technol.* 51(24), 14283-14292. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b03055>
- Lozano Y.M., Lehnert T., Linck L.T., Lehmann A., Rillig M.C. 2021. Microplastic Shape, Polymer Type, and Concentration Affect Soil Properties and Plant Biomass. *Front. Plant Sci.* 12, 616645 <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.616645>
- Mbachu O., Jenkins G., Pratt C., Kaparaju P. 2021. Enzymatic purification of microplastics in soil. *MethodsX*, 8, 101254. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2021.101254>
- Merrell T.R., 1980. Accumulation of plastic litter on beaches of Amchitka Island, Alaska. *Mar. Environ. Res.* 3 (3), 171–184. [https://doi.org/10.1016/0141-1136\(80\)90025-2](https://doi.org/10.1016/0141-1136(80)90025-2)
- Mintenig S.M., Int-Veen I., Löder, M.G.J., Primpke S., Gerdtz G. 2017. Identification of microplastic in effluents of waste water treatment plants using focal plane array-based micro-Fourier-trans- form infrared imaging. *Water Res.* 108, 365–372. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.11.015>
- Nuelle M.-T., Dekiff J.H., Remy D., Fries E. 2014. A new analytical approach for monitoring microplastics in marine sediments. *Environ. Pollut.* 184, 161–169. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.07.027>
- OECD 2022. *Global Plastics Outlook: Economic Drivers, Environmental Impacts and Policy Options*, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/de747aef-en>.
- Österlund H., Blecken G., Lange K., Marsalek J., Gopinath K., Viklander M. 2023. Microplastics in urban catchments: Review of sources, pathways, and entry into stormwater. *Sci. Total Environ.*, 858, 159781. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159781>
- Piehl S., Leibner A., Löder, M.G.J., Dris R., Bogner C., Laforsch C. 2018. Identification and quantification of macro- and microplastics on an agricultural farmland. *Sci. Rep.* 8, 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-36172-y>
- Picó Y. i Barceló D. 2020. Pyrolysis gas chromatography-mass spectrometry in environmental analysis: Focus on organic matter and microplastics. *TrAC, Trends Anal. Chem.* 130, 115964. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2020.115964>
- Rillig M.C. 2012. Microplastic in terrestrial ecosystems and the soil?. *Environ. Sci. Technol.* 46(12), 6453-6454. <https://doi.org/10.1021/es302011r>
- Rocha-Santos T. i Duarte A.C. 2015. A critical overview of the analytical approaches to the occurrence, the fate and the behavior of microplastics in the environment. *TrAC, Trends Anal. Chem.* 65, 47–53. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2014.10.011>
- Scheurer M., Bigalke M. 2018. Microplastics in Swiss floodplain soils. *Environ. Sci. Technol.* 52(6), 3591-3598. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b06003>
- Song Y.K., Hong S.H., Eo S., Shim W.J. 2021. A comparison of spectroscopic analysis methods for microplastics: manual, semi-automated, and automated Fourier transform infrared and Raman techniques. *Mar. Pollut. Bull.* 173, 113101. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113101>
- Sujathan S., Kniggendorf A.-K., Kumar A., Roth B., Rosenwinkel K.-H., Nogueira R. 2017. Heat and Bleach: A Cost-Efficient Method for Extracting Microplastics from Return Activated Sludge. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 73(4), 641–648. <https://doi.org/10.1007/s00244-017-0415-8>
- Tagg A.S., Sapp M., Harrison J.P., Ojeda J.J. 2015. Identification and Quantification of Microplastics in Wastewater Using Focal Plane Array-Based Reflectance Micro-FT-IR Imaging. *Anal. Chem.* 87(12), 6032–6040. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.5b00495>
- Thomas D., Schütze B., Heinze W.M., Steinmetz Z. 2020. Sample preparation techniques for the analysis of microplastics in soil—a review. *Sustainability*, 12(21), 9074. <https://doi.org/10.3390/su12219074>
- Thompson R.C., Olsen Y., Mitchell R.P., Davis A., Rowland S.J., John A.W., McGonigle D., Russell, A. E. (2004). Lost at sea: where is all the plastic?. *Science*, 304(5672), 838-838. <https://doi.org/10.1126/science.1094559>
- Thompson R.C., Swan S.H., Moore C.J., vom Saal F.S. 2009. Our plastic age. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 1973–1976. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0054>
- Truong T-N-S., Strady E., Kieu-Le T-C., Tran Q-V., Le T-M-T., Thuong Q-T. 2021 Microplastic in atmospheric fallouts of a developing Southeast Asian megacity under tropical climate. *Chemosphere*, 272, 129874. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129874>



Wang F., Zhang X., Zhang S., Zhang S., Sun Y. 2020. Interactions of microplastics and cadmium on plant growth and arbuscular mycorrhizal fungal communities in an agricultural soil. *Chemosphere*, 126791. doi:10.1016/j.chemosphere.2020.126791

Xu J.L., Thomas K.V., Luo Z., Gowen A.A. 2019. FTIR and Raman imaging for microplastics analysis: State of the art, challenges and prospects. *TrAC, Trends Anal. Chem.* 119, 115629. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2019.115629>

Xu Y., Ou Q., Wang X., Hou F., Li P., van der Hoek J.P., Liu, G. 2023a. Assessing the Mass Concentration of Microplastics and Nanoplastics in Wastewater Treatment Plants by Pyrolysis Gas Chromatography–Mass Spectrometry. *Environ. Sci. Technol.* 57(8), 3114-3123. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c07810>

Xu X., Li T., Zhen J., Jiang Y., Nie X., Wang Y., Yuan X-Z., Mao H., Wang X., Xue L., Chen J., Chen, J. 2023b. Characterization of Microplastics in Clouds over Eastern China. *Environ. Sci. Technol. Lett.* <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.3c00729>

Yang L., Zhang Y., Kang S., Wang Z., Wu C. 2021. Microplastics in soil: A review on methods, occurrence, sources, and potential risk. *Sci. Total. Environ.* 780, 146546. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146546>

Zhang S.; Yang X.; Gertsen H.; Peters P.; Salánki T.; Geissen V. 2018. A simple method for the extraction and identification of light density microplastics from soil. *Sci. Total. Environ.* 616–617, 1056–1065. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.213>

Zhang G.S. i Liu Y.F. 2018. The distribution of microplastics in soil aggregate fractions in southwestern China. *Sci. Total. Environ.* 642, 12-20 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.004>

Zhao T., Lozano Y.M., Rillig, M.C. 2021. Microplastics increase soil pH and decrease microbial activities as a function of microplastic shape, polymer type, and exposure time. *Front. Environ. Sci.* 9, 675803. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.675803>

Zhou B., Wang J., Zhang H., Shi H., Fei Y., Huang S., Tong Y., Wen D., Luo Y., Barceló D. 2020. Microplastics in agricultural soils on the coastal plain of Hangzhou Bay, east China: Multiple sources other than plastic mulching film. *J. Hazard. Mater.* 388, 121814. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121814>

Dziękuję za uwagę

mgr Radosław Stec

Zespół Remediacji gleb, rozwiązań opartych na naturze i rolnictwa miejskiego

Zakład Badań i Rozwoju

Tel. 32 254 60 31 wew. 277

Faks 32 254 17 17

E-mail: [r.stec@ietu.pl](mailto:r.stec@ietu.pl)